

2.9 その他の副産物

2.9.1 カキ殻等

カキ殻等は、粉碎後砂と混合してサンドコンパクション（あるいはドレーン）パイル用の材料等に利用できる。

（解説）

カキ殻

カキ殻は漁業系廃棄物の中の一般廃棄物に該当する。

全国におけるカキの生産量は平成10年度で約20万トンであり、このうち約8割がカキ殻として発生するため、カキ殻の推定発生量は約16万トンである。

カキ殻の利用状況には地域較差があり、広島県では飼料・肥料等に全量が利用されているのに対し、宮城県では相当量が堆積場等に投棄されており、平成7年3月時点の漁連調査では堆積場に32万トンが、更にそれ以外の場所に25万トンが野積みされていると推定されている。

このような地域の状況を背景に、東北地方整備局ではカキ殻を地盤改良材用（サンドコンパクションパイル材）の建設資材として有効利用を図る目的で、宮城県石巻地区のカキ殻を30mm以下に粉碎して砂と混合使用することにより適用性の評価を行い、利用が可能であることが確認されている。

また、カキ殻の利用方法としてカキ殻をそのままの状態を活用する水質浄化方法の材料に利用することも可能である。

ホタテ貝殻

ホタテ貝殻は漁業系廃棄物の中の一般廃棄物に該当する。

全国におけるホタテの生産量は平成11年度で約50万トンであり、このうち約5割がホタテ貝殻として発生するため、ホタテ貝殻の推定発生量は約25万トンである。

ホタテ貝殻の利用状況には地域較差があり、北海道の網走管内では「カキ貝の種苗用原盤」・「凍上抑制剤」として用いられるほか、カルシウムを多く含むことから「養鶏の飼料」や「土壌改良用の材料」として利用されているのに対し、噴火湾地域では一部近隣の農家の飼料・肥料用に無償提供されている外は野積みされなど水産加工業者に任せられて処理されている。

このような地域の状況を背景に、ホタテ貝殻を地盤改良材用[サンドドレーン（コンパクション）パイル材]の建設資材として有効利用を図る目的で、北海道函館港及び紋別港においてホタテ貝殻を75mm以下に粉碎して砂と混合使用することにより適用性の評価を行っている。

(1) カキ殻

1) 品質

一般に粉碎したカキ殻の特徴を砂と比較すると以下のものである。

- 内部摩擦角は砂と同程度かそれより大きい。
- 比重・密度は砂より小さい。
- 透水性は砂より大きい
- C B R は砂の中間程度
- 圧縮性は砂より大きい。

サンドコンパクションパイル材として、カキ殻を30mm以下に粉碎し、砂と砂1に対しカキ殻1の割合（体積）で混合したカキ殻混合材の特性を比較したものを表2.9.1に示す。

表2.9.1 カキ殻の室内試験結果（例）

試験項目	DMAX30mm (A)	混合材 1(A):1(B)	砂 (B)
土粒子の密度 g/cm ³	2.17	2.42	2.67
含水比 %	27.6	19.0	12.4
透水係数 cm/sec	3.18 × 10 ⁰	-	-
圧縮指数	0.770	0.325	0.044
修正 C B R 締固め度95% %	16.5	-	-

石巻港の地盤改良に用いられた砂。

[出展：土木技術 1995-2；SCP工法におけるカキ殻の活用事業、
運輸省第二港湾建設局塩釜湾工事事務所（現国土交通省東北地方整備局塩釜港湾空港工事事務所）]

2) サンドコンパクションパイル材への適用

カキ殻のサンドコンパクションパイル材への適用検討は、カキ殻を最大粒径30mm以下に破碎した材料を砂3に対し1の割合（体積）で混合して一連の室内試験及び土槽内標準貫入試験を経て試験施工を実施している。

試験施工におけるカキ殻と砂の混合は図2.9.1のフローに示すとおり、ダンプトラック、ガット船、SCP船からケーシングまでの5段階で実施したものである。

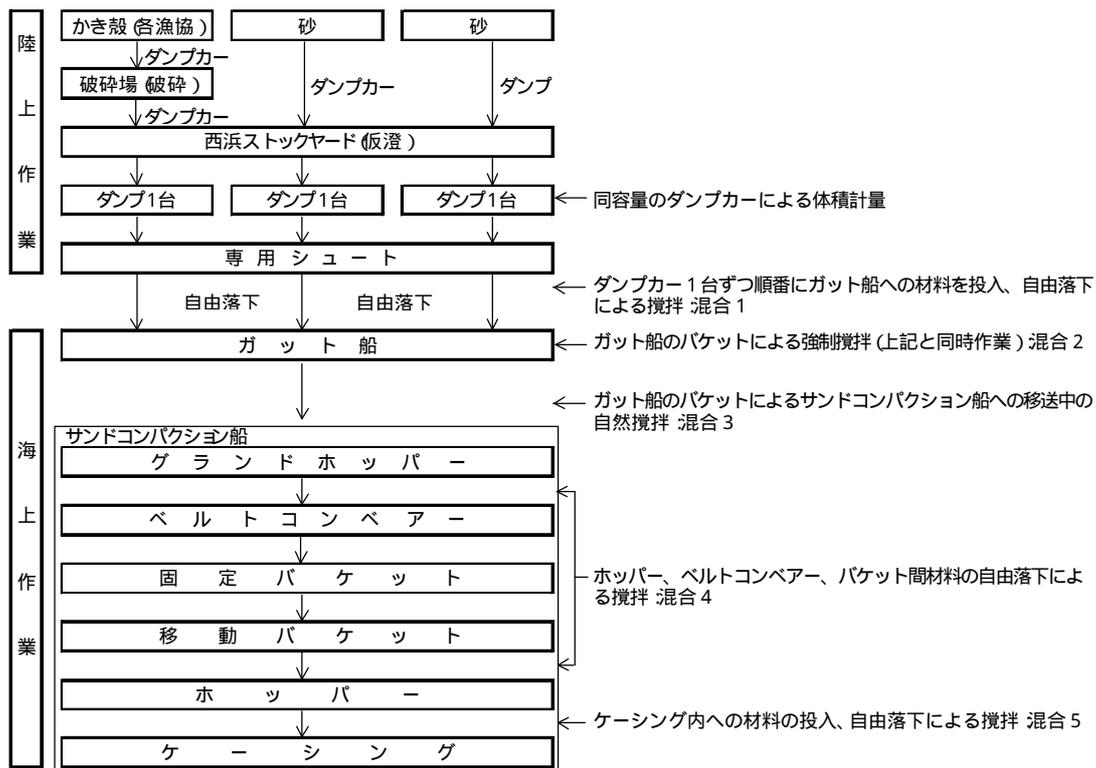


図2.9.1 カキ殻混合材の製造・混合フロー

カキ殻のサンドコンパクションパイル材としての評価

- 砂のみの現地標準貫入試験との比較において、平均 N 値が同等 ($N = 16$) で施工管理の基準を満足している。
- 混合材の均一性と分離性については、試験室でミキサー混合したものと図2.9.1のカキ殻混合材の製造・混合フローにおける現場混合 (混合5回) での差は見られないので現場での混合は適切と見なされる。
- サンドコンパクションパイル打設前後の粒度分布の比較では曲線の形に差は見られないので打設による材料の分離は無いと見なされる。
- 沈下量の比較については、大型一面せん断試験および間接的計算の結果から、混合材の沈下は、砂の2倍程度 (捨石および防波堤下で約20~50cm) である。一般に圧縮指数を用いた方法は、沈下量を過大に計算する傾向があり、このことを考慮すれば、この沈下量はそれほど大きくなく、時間的には早期に終了しており、残留沈下は殆ど無いので特段の問題はないと考えられる。
- 内部摩擦角については、大型一面せん断試験により混合材の密度および圧密圧力が異なる場合の内部摩擦角を調べたところ、密度が大きいほど、また圧力が小さいほど

ど内部摩擦角の大きいことが判った。このことと現地 N 値から推定したサンドコンパクションパイルの密度および土被り圧から内部摩擦角を推定したところ（平均 48° ）、安全性は確保されることが判った。

(2) ホタテ貝殻

1) 品質

一般に粉碎したホタテ貝殻の特徴を砂と比較すると以下のようなものである。

- 密度は砂より大きい。
- 乾燥密度及び単位容積質量は砂より小さい。
- 透水性は砂より大きい。
- 内部摩擦角は砂と同程度。

サンドドレーン材として、ホタテ貝殻を75mm以下に粉碎し、ホタテ貝殻混合材の特性を比較したものを表2.9.2及び図2.9.2に示す。

表 2.9.2 ホタテ貝殻の室内試験結果

	試料番号 (深 さ)	購入砂	混合材料	混合材料	混合材料	帆立殻	
		砂:砂 0:100	砂:砂 30:70	砂:砂 50:50	砂:砂 70:30	砂:砂 100:0	
一 般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.672	2.676	2.680	2.684	2.709	
	自然含水比 W_n %	8.6	6.6	5.4	4.4	2.6	
	間 隙 比 e						
	飽 和 度 S_r %						
粒 度	礫 分2~75mm %	39	50	61	66	92.6	
	砂 分75 μ m~2mm %	53	44	34	29	7.2	
	シルト分5~75 μ m %	4	6	5	5	0.2	
	粘土分5 μ m未満 %	4					
	均 等 係 数 U_c	15.2	17.5	18.3	25.4	3.4	
	曲 率 係 数 U_c'	2.1	1.9	1.9	1.9	1.4	
	最 大 粒 径 mm	9.5	26.5	26.5	37.5	37.5	
分 類	分 類 名	粘性土混じり礫質砂	粘性土まじり砂質礫	粘性土まじり砂質礫	粒径幅の広い砂質礫	分級された砂まじり礫	
	分 類 記 号	(SG-Cs)	(GS-Cs)	(GS-Cs)	(GWS)	(GP-S)	
最大最小	最大乾燥密度 g/cm ³	1.457	1.398	1.451	1.412	1.291	
	最小乾燥密度 g/cm ³	1.164	1.086	1.153	1.130	0.987	
透 水	試験方法	定水位法	定水位法	定水位法	定水位法	定水位法	
	透水係数 k cm/s	Dr=40%	2.18×10^{-1}	2.67×10^{-1}	1.74×10^{-1}	2.60×10^{-1}	
		Dr=60%	1.02×10^{-1}	2.53×10^{-1}	1.10×10^{-1}	1.82×10^{-1}	
		Dr=80%	9.76×10^{-2}	1.40×10^{-1}	7.73×10^{-2}	1.73×10^{-1}	
単位容積質量試験	湿潤単位容積質量 kg/l	1.25	1.20	1.14	1.06	0.90	
	含 水 比 %	8.3	6.3	5.3	4.1	2.8	
	乾燥単位容積質量 kg/l	1.15	1.13	1.08	1.02	0.88	

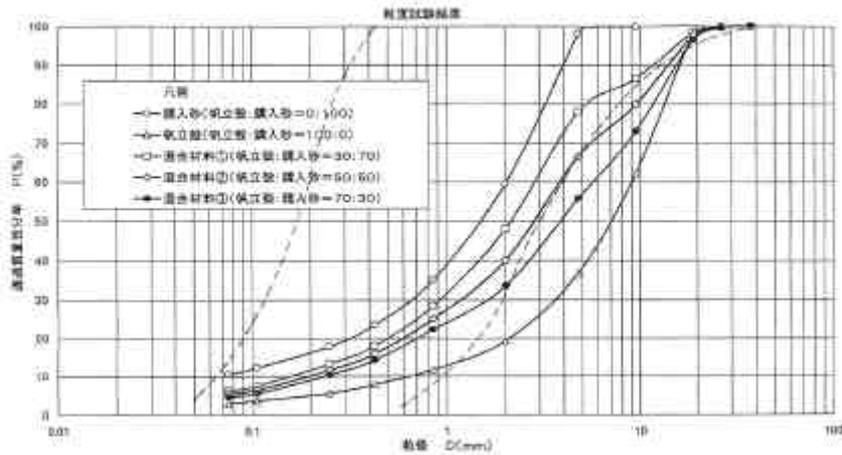


図 2.9.2 ホタテ貝殻の粒度試験結果

2) サンドドレーン（コンパクション）材への適用

ホタテ貝殻のサンドドレーン材への適用検討は、ホタテ貝殻を最大粒径75mm以下に破碎した材料をホタテ貝と砂の混合比を3：7の割合（重量比）で混合して一連の室内試験を経て試験施工を実施している。

試験施工におけるホタテ貝殻と砂の混合材におけるサンドドレーン工法は図2.9.3のフローに示すとおり実施した。

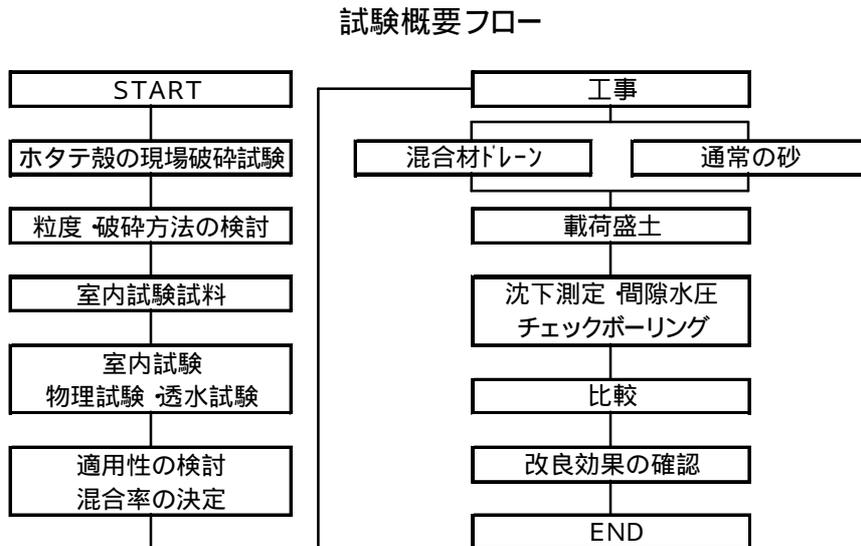


図2.9.3 ホタテ貝殻混合材の製造・混合フロー

ホタテ貝殻のサンドドレーンパイル材としての評価

- ホタテ貝殻の破碎においては、生産性と最大粒径の管理が課題となり、これらの克服のためコンクリート破碎機及び振動ふるいを使用する破碎方法とした。
- 室内試験結果から、透水性などの特性は、砂と砂及び破碎したホタテ貝殻の混合材

料ともに同程度であった。

- 粒径加積曲線の適用範囲を満足するホタテ貝殻と砂の混合率は3：7（重量比）となった。
- 沈下傾向等の改良効果の比較確認までは至っていないが、打設後の調査ボーリング結果では、施工時の振動による材料の粒子破壊（細粒化）も認められず、透水性においても室内試験と顕著な差はない。

ホタテ貝殻のサンドコンパクションパイル材としての評価

- 破碎した帆立貝殻は、砂とブレンド（体積比 帆立殻：砂 = 1：2）することにより粒度分布の範囲を満足する結果となり砂と同等な評価が得られた。
- 改良効果については、杭間・杭芯での調査結果により設計目標N値を満足し、かつ本施工での事後調査結果と比較し、ほぼ同等の改良効果が得られていることが確認できSCP中詰材料としての適用が可能である。
- ケーシング内におけるブレンド材の体積変化率 R_v は砂に比べ約10%程度大きくなり、砂を使用した場合と同等の効果を得るためには、砂の使用量に対し10%程度の割増しを考える必要がある。

2.9.2 一般廃棄物溶融固化物

一般廃棄物溶融固化物はリサイクル材としてコンクリート用細骨材や舗装用材等に利用することができる。なお、利用に際しては有害物質の溶出等の安全性に留意しなければならない。

（解説）

一般廃棄物溶融固化物は一般廃棄物の焼却灰を加熱し、概ね1200 以上の高温条件下で有機物を燃焼させるとともに、無機物を溶融した後に冷却してガラス質の固化物とする技術であり、重金属の溶出防止及びダイオキシン類の分解・削減に極めて有効とされて、最終処分場負荷の低減を目的に開発された技術である。

溶融固化物の性状は鉄鋼スラグ等と同様に水砕処理されたものは通常5 mm 以下の砂状を呈し、空冷したものはこぶし大の塊をなし破碎処理され任意の粒度に調整される。

今後のJIS化を目指した標準情報（TR）であるTR A 0016（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材）、TR A 0017（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた道路用骨材）において、溶融固化物の用途は、コンクリート用細骨材、路盤材（路床材、下層路盤材、上層路盤材等）、加熱アスファルト混合物用骨材としている。また、TR A 0016、TR A 0017では化学成分、物理的性質、有害物質の溶出量といった品質等についても規定しており、利用に際しては基本的にこれに適合しなければならない

ない。

1) 品質

化学組成

一般廃棄物溶融固化物の主成分はシリカ (SiO₂)、石灰 (CaO)、アルミナ (Al₂O₃) であり、これらで全体の約80%を占める。スラグの構成比率は処理対象物の成分及び添加材 (塩基度調整材) の有無に依存すると考えられている。

表2.9.3 一般廃棄物溶融固化物の化学組成例

	全体平均	水碎		空冷	
		最大	最小	最大	最小
SiO ₂ (%)	37.3	53.7	23.0	50.0	16.3
CaO (%)	24.6	45	16.5	28.9	13.1
Al ₂ O ₃ (%)	17.2	21.2	14.9	24.7	8.8
Fe ₂ O ₃ (%)	6.1	16.7	1.6	13.0	3.1
TiO ₂ (%)	1.2	1.5	0.8	1.6	1.0
MgO (%)	2.6	3.5	1.7	5.0	2.0
Na ₂ O (%)	3.5	4.5	0.6	7.0	0.6
K ₂ O (%)	0.9	1.5	0.2	0.5	0.1

[出典：公共事業における試験施工のための他産業再生資材試評価マニュアル案；土木研究所資料 3667号]

物理、力学特性

一般廃棄物溶融固化物の物理性状は表2.9.4に示すとおりであり、水碎スラグは密度が砂と同等か若干重く、吸水率は砂より小さいものが多い。また、路盤材用の項目としてすりへり減量は平均37%で舗装の構造に関する技術基準・同解説の上層路盤材の基格値50%を満足するが、修正 CBR 値は平均19%であり、スラグ単独では基準の下層路盤材の基準を満たしていない。(規格値20%以上)

また、空冷スラグのすりへり減量及び修正 CBR 値はそれぞれ平均で26%、54%でありスラグ単独でも舗装の構造に関する技術基準・同解説の下層路盤材の基準を満足している。

表2.9.4 一般廃棄物溶融固化物の物理特性例

	水砕	空冷
	平均	平均
見掛け比重	2.74	
表乾比重	2.73	2.8
絶乾比重	2.7	2.8
単位容積質量(kg/l)	1.51	1.7
吸水率(%)	1.03	1.1
実績率(%)	60.5	54.8
安定性(%)	5.08	0.6
洗い試験(%)	1.3	0.2
ロサンゼルスすり減り減量(%)	37.3	25.7
最大乾燥密度(t/m ³)	1.71	2.4
最適含水比(%)	9.2	2.5
修正CBR(%)	19.3	53.8

[出典：公共事業における試験施工のための他産業再生資材試評価マニュアル案；土木研究所資料 3667 号]

2) 適用用途

一般廃棄物溶融固化物の用途としては、現在までにコンクリート用細骨材と舗装材料としての検討が行われている。

これらについては、「公共事業における試験施工のための他産業再生資材試評価マニュアル案；土木研究所資料3667号」にコンクリート用細骨材と路盤材としての適用が示されているが、現段階では、コンクリート用細骨材としては、「高い強度・耐久性が要求されない構造物等へ適用するのが好ましい」とされ、舗装用材としての試験施工の事例はC交通以下のものである。

3) 周辺環境への影響

一般廃棄物溶融固化物の溶出基準については、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について（平成10年3月26日厚生省通達、生衛発第508号）」において、土壤の汚染に係る環境基準に基づいて表2.9.5の溶出基準が示されている。

また、各溶融施設の溶出試験結果例を表2.9.6に示す。

なお、一般廃棄物溶融固化物の使用に際しては溶出試験等により環境基準に適合することを確認する必要がある。

表 2.9.5 溶融固化物に係る溶出基準

項目	溶出基準
カドミウム	0.01mg/l 以下
鉛	0.01mg/l 以下
六価クロム	0.05mg/l 以下
砒素	0.01mg/l 以下
総水銀	0.0005mg/l 以下
セレン	0.01mg/l 以下

[出典：一般廃棄物の溶融固化物の再利用の実施の促進について、平成10年3月26日厚生省通達（現厚生労働省）生衛発第508

表 2.9.6 溶融固化物の溶出試験結果例

番号	被溶融物	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン
1	混合灰	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.0005	<0.01
2	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
3	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
4	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
5	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
6	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
7	混合灰	<0.005	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.005
8	混合灰	<0.01	0.02	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
9	混合灰	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
10	混合灰	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
11	焼却灰	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
12	焼却灰	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
13	焼却灰	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01

[出典：一般廃棄物の溶融固化物の再利用の実施の促進について、

平成 10 年 3 月 26 日厚生省通達（現厚生労働省）生衛発第 508 号]

2.9.3 下水汚泥溶融固化物

下水汚泥溶融固化物はリサイクル材としてコンクリート用細骨材や舗装用材等に利用することができる。なお、利用に際しては有害物質の溶出等の安全性に留意しなければならない。

（解説）

下水汚泥溶融固化物は、下水汚泥の溶融汚泥固形物中の有機分が分解した後の無機物をより高温で融解し、その融液を冷却し固化物とする技術である。スラグは冷却方法により水砕スラグ、空冷スラグに分けられるのは一般廃棄物溶融固化物の場合と同様である。

下水汚泥処理に適用される溶融プロセスとしては、表面溶融炉、旋回溶融炉、コークスベッド式溶融炉が挙げられる。

下水汚泥溶融固化物のリサイクル材としての利用に関しては、今後の JIS 化を目指した標準情報（TR）である TR A 0016（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材）、TR A 0017（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた道路用骨材）が策定されている。これらの標準情報において溶融固化物の用途は、コンクリート用細骨材、路盤材（路床材、下層路盤材、上層路盤材等）、加熱アスファルト混合物用骨材としている。また、TR A 0016、TR A 0017では化学成分、物理的性質、有害物質の溶出量といった品質等についても規定しており、利用に当たっては基本的にこれに適合しなければならない。

1) 品質

スラグの絶乾密度及び表乾密度は概ね2.5～3.0g/cm³であり、碎石なみの重さと考えられる。また、冷却方法により絶乾密度の値は若干異なり、空冷スラグは水砕スラグよりやや大きな値となる傾向がある。表2.9.7に下水汚泥溶融固化物の化学組成例を示す。

表 2.9.7 下水汚泥溶融固化物の化学組成例

処理場名	A	B	C	D	E	F	G	H	含有重量割合 : %	
									下水道事業団データ 高分子系	石灰系
測定値	6	2	7	4	1	1	7	7	24.0	22.0
SiO ₂	46.0	41.1	43.8	26.6	27.5	43.9	34.1	15.8	40.7	22.3
Al ₂ O ₃	14.2	13.5	31.2	10.6	10.8	3.5	19.8	14.8	14.8	8.1
Fe ₂ O ₃	7.75	7.5	7.12	2.85	7.25	10.7	13.5	6.5	9.6	15.7
CaO	15.9	6.66	3.9	63.6	21.2	0.81	10.9	23.6	8.2	40.1
MgO	1.89	2.52	1.77	3.33	2.0	0.46	2.34	2.76	3.0	2.8
P ₂ O ₅	4.67	10.5	1.09	-	-	-	11.1	4.22	13.0	4.9
CaO/SiO ₂	0.43	0.16	0.09	2.39	0.02	0.02	0.32	1.49	0.2	1.8

下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥の建設資材利用マニュアル(案) 1991年度版

2) 適用用途

下水汚泥溶融固化物の適用用途としては、コンクリート用骨材と舗装材料が考えられるが、コンクリート用骨材は、骨材としての評価試験レベルの調査が実施され、溶融固化物と砂の混合率の評価等が実施されている。また、舗装材料としては、下層路盤への利用事例があるが、利用実績は設計交通量がA交通の路盤のみである。

3) 周辺環境への影響

下水汚泥溶融固化物の溶出基準については、「公共事業における試験施工のための他産業再生資材試評価マニュアル案；土木研究所資料3667号」に一般廃棄物溶融固化物に準ずるとされている。

なお、下水汚泥溶融固化物の使用に際しては溶出試験等により環境基準に適合することを確認する必要がある。